

더블기어 자동 시각 검사 시스템 설계 및 구현

이 영 교* · 김 영 포**

Automated Visual Inspection System of Double Gear using Inspection System

Lee, Young Kyo · Kim, Young Po

〈Abstract〉

Mini Double Gears Frame is critical part of PDP and also produces couple hundred thousand every month. In the process of mass production, product inspection is very important process.

Double Gear, one of the part of machine, was inspected by human eyes which caused mistakes and slow progress. To achieve the speed and accuracy the system was compensated by vision system which is inspecting automatically.

The focus value is measured based on the fact that high contrast images have much high frequency edge information. High frequency term of the image is extracted using the high-pass filter and the sum of the high frequency term is used as the focus value. We used a Gaussian smoothing filter to reduce the noise and then measures the focus value using the modified Laplacian filter called a Sum modified Laplacian Focus values for the various lens positions are calculated and the position with the maximum focus value is decided as the focused position. The focus values calculated in various lens position showed the Gaussian distribution. We proposed a method to estimate the best focus position using the Gaussian curve fitting. Focus values of the uniform interval lens positions are calculated and the values are used to estimate the Gaussian distribution parameters to find the best focus position.

Key Words : Image Processing, Patterns Matting, Image Study, Visual Inspection, Software Development

I. 서론

산업 현장에서 시각적인 검사 작업은 중요한 생산 활동 중의 하나이다. 인간의 눈으로 수행하는 작업은 시간이 지남에 따라 피로가 누적되어 검사오류를 일으키게

된다. 이러한 검사 오류는 생산성과 제품품질에 많은 영향을 끼친다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 산업용 로봇에 시각시스템을 도입하거나 자동 인식 시스템을 응용하여 검사 시스템에 활용하고 있다[1-2].

영상 학습은 컴퓨터를 이용한 자동 시각 검사에서 매우 중요하고 어려운 문제이다. 대량생산 시스템에서 제품 검사는 매우 중요한 공정단계 중의 하나이며 제품의

* 부천대학교 정보통신과 부교수

** 한국항공대학교 정보통신공학과 박사과정(교신저자)

신뢰성을 높이기 위하여 모든 부품과 완제품에 대한 전수검사가 요구되고 있다. 현재 대부분의 시각검사는 현재 대부분 검사 사람의 육안에 의존한다. 하지만 검사대상 패턴이 점점 작아지고 복잡해지면서 사람의 눈에 의한 시각검사는 한계에 다가가고 있다. 본 논문에서 검사할 더블 기어의 지름이 5.3mm이고 검사하여야 할 내부 기어의 지름은 2.2mm로 사람의 눈으로는 검사가 불가능하여 기존에는 확대경을 이용하여 검사를 진행하였다. 하지만 사람의 육안에 의한 검사는 오판하거나 검사의 속도가 느리며 이로 인하여 인건비 상승이 주요 문제점으로 대두되고 있다. 이를 보완하여 빠르고 정확하게 검사를 하기 위하여 비전 시스템(Vision System)을 이용하여 공정을 자동화 하였다[3-4]. 더블 기어의 중심의 원과 기어의 각도를 이용하여 영상을 정렬하고 안쪽기어의 이상 유/무와 결함을 자동으로 검사하는 시스템을 설계하여 100%의 인식률과 신속하고 정확한 검사가 가능함을 보였다. 카메라의 초점 조절은 컴퓨터 비전을 이용한 정밀 형상 측정에서 중요한 부분을 차지한다. 머신 비전을 이용한 측정 장비에서 정밀한 측정을 하기 위해서는 형상에서의 정확한 에지 성분을 찾아내야 한다. 정확한 에지 성분을 찾기 위해서는 카메라와 형상간의 초점 조절이 반드시 필요하다. 영상의 초점이 잘 맞을수록 형상의 경계가 선명해지는 것은 영상에 고주파 성분이 많이 가지고 있다는 것을 의미한다. 본 논문에서는 더블기어의 높낮이를 이용하여 영상에서 고주파 성분을 분석해 기어의 내각과 외각을 분리하여 검사하는 시스템을 구현하였다.

본 논문의 구성은 1장에서는 서론으로 논문의 전체적인 개요를 서술하고 2장은 관련연구로 기어와 고주파 측정 방법에 대하여 알아보고 3장은 기어검사 시스템으로 더블기어의 내각과 외각을 분리하기 위한 방법에 대하여 알아보며 마지막 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련연구

본 장에서는 여러 가지 기어에 대하여 알아보고 영상 분할에서 필요한 고주파 성분 분석 알고리즘에 대하여 알아본다.

2.1 기어

기어란 2개 또는 그 이상의 축 사이에 회전(回轉)이나 동력을 전달하는 기계부품으로 본래의 뜻은 기어를 사용한 전동장치(傳動裝置)의 총칭을 뜻한다. 여러 축에 회전이나 동력을 전달하는 가장 간단한 방법은 두 축에 원판을 부착하여 이것을 서로 접촉하면 되지만 이러한 경우, 회전수를 증가시키거나 접촉압력이 낮으면 미끄럼이 생겨서 힘이 전달되지 않는다. 그러므로 양쪽 바퀴 주변에 같은 간격으로 돌기를 만들어 그 하나하나가 서로 물리도록 하면 회전수가 증가하여도 미끄럼이 생기지 않게 만든 것이 기어이다. 이것은 동력이나 회전의 전달이 확실하며, 정확한 각속도비(角速度比)로 전달할 수 있고, 구조도 비교적 간단하며, 동력손실도 적고 수명도 긴 장점이 있어 기계구조에 널리 이용되고 있다. 기어는 시계에 쓰이는 지름 1.5mm 정도의 작은 것에서부터 큰 것은 선박용 감속장치 등에 사용되는 수 m에 달하는 것까지도 있으며, 공작기계·차량 등을 비롯하여 모든 종류의 기계에 이용된다.

기어의 종류로는 동력전달의 방향에 따라 평행 축 기어(Gear pair with parallel axes), 교차 축 기어(Gear pair with intersection axes), 엇갈림 축 기어(Gear pair with non-parallel and non-intersecting axes)로 나뉜다. 평행 축 기어는 평 기어와 내기어로 나뉘는데 평 기어는 원통 기어로 기어의 이 줄기가 축과 평행하며 두 개의 외기어가 서로 맞물리며 내 기어는 평 기어와 마찬가지로 두 축이 나란하게 놓이지만 한 개의 외 기어와 또 하나의 내 기어가 맞물린다.

교차 축 기어는 두 축이 90°로 만나는 것을 직교베벨

기어 또는 베벨기어라고 부르며 모양에 따라 스트레이트 베벨기어(Straight bevel gear), 스파이럴 베벨기어(Spiral bevel gear), 제로 베벨기어(Zerol bevel gear)로 나뉜다.

엇갈림 축 기어는 맞물리는 기어의 중심축이 교차하지도 않고 평행하지도 않을 경우를 엇갈림 축 기어라 부르며 모양에 따라 나사 기어(Crossed helical gear), 원통 웜 기어(Cylindrical worm gear), 더블 엔벨로핑 웜 기어(Double enveloping worm gear), 하이포이드 기어(Hypoid gear), 스피로이드 기어(Spiroid gear), 헬리콘 기어(Helicon gear)로 종류를 나눈다.

본 논문에서 검사를 하는 Double Gear(이중 기어)는 큰 기어 외경은 5.3mm(잇수 25개), 작은 기어 외경은 2.9mm (잇수 12개), 내부 원 지름은 2.2mm 이다.

2.2 초점 값 측정 알고리즘

영상 처리에서 CCD 카메라를 통하여 획득된 2차원 영상의 에지가 선명하다는 것은 입력된 영상들에 고주파 성분이 많이 포함되어 있다는 말한다. 초점 조절에 필요한 초점 값 측정은 여러 논문들에서 다양하게 제안되고 있다. 본 장에서는 초점 값 계산에 이용되는 알고리즘들과, 본 논문에서 제안하는 라플라시안-가우시안 방법을 이용한 초점 값 측정 알고리즘에 대하여 설명한다[5-7].

초점 값 측정을 위한 첫 번째 방법으로 Tenengrad 방법이 있다. 이 방법은 초점 정도가 에지의 선명도에 영향을 미친다는 것을 이용하여 에지 기울기 크기에 임계치를 적용한 초점 값 계산 방법으로, 기울기 크기의 총 누적치가 가장 큰 값을 갖는 위치가 초점 위치라고 정한 방식으로 Tenenbaum이 제안한 것이다.

$$F_{Tenengrad} = \sum_x \sum_y G(x, y)^2, G(x, y)^2 > T \quad (1)$$

식에서 T는 임계치이며, 는 소벨 마스크를 사용하여 계산된 기울기 크기를 나타낸다. Tenengrad 방법과 유사하지만 2차원 마스크를 사용하지 않음으로써 연산 속도를

높인 SMD(Sum-Modules-Difference) 방법이 있다.

SMD는 영상의 수평 방향과 수직 방향에 대한 화소차를 각각 계산한 후 두 값의 합을 초점 값으로 한다.

$$\begin{aligned} SMD_x &= \sum_x \sum_y |f(x, y) - f(x, y+1)| \\ SMD_y &= \sum_x \sum_y |f(x, y) - f(x+1, y)| \\ F_{SMD} &= SMD_x + SMD_y \end{aligned} \quad (2)$$

FSWM(Frequency Selective Weighted Median) 방법이 있다. FSWM은 영상의 임펄스 잡음을 제거하고 강한 에지 성분들은 보존하는데 유용한 미디언 필터 기법에 대한 수정된 연산 방법이다. 이 필터는 미디언 필터 기법과 선형 위상 FIR 고역 통과 필터를 기반으로 구현하였다.

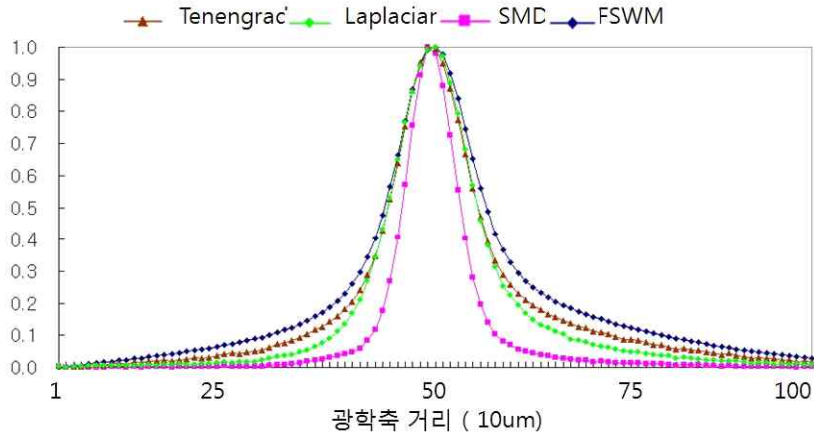
$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (3)$$

$$F_{Laplacian} = \sum_x \sum_y L(x, y)^2, L(x, y)^2 > T \quad (4)$$

(4)식에서는 라플라시안 마스크를 사용한 2차 미분에 대한 절대 값이다. 이 방법에서 식(3)에 의한 수평, 수직 방향의 2차 미분 값이 정반대의 부호를 가질 때 서로 상쇄되어지므로 정확한 초점 값을 얻기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Nayar가 제안한 수평, 수직 방향 각각에 대한 이차 미분 값의 절대 값을 구하는 변형된 라플라시안 방법을 이용한다. 이 방법을 SML(Sum Modified Laplacian)이라고 하며 식은 다음과 같다.

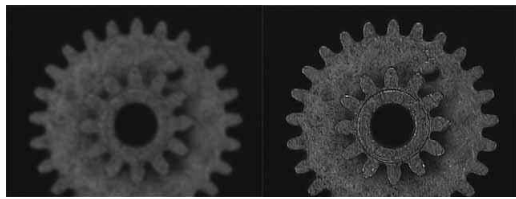
$$\begin{aligned} F_{SML} &= \sum_x \sum_y \{ \nabla^2 f(x, y) \}^2 \\ &= \sum_x \sum_y \left\{ \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right| \right\}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

그림 1은 각 방식을 이용하여 초점 값을 측정한 것을 나타낸다. 본 논문에서는 기어 검사 시스템은 내각 기어



<그림 1> 초점 값 측정

의 영상검사를 위해서 100장의 영상을 Z축에 대하여 10 μm 단위로 증가해 가며 100장의 영상을 획득하여 각 초점 값에서 고주파 값을 측정하였다. 50번째 영상이 정초점 기어 영상이다(그림 2).



(a) 1 번째 영상 (b) 50번째 영상
<그림 2> 실험 영상

2.3 시각검사장치 연구동향

자동 시각 검사 방법에는 크게 영상 차감법(Image Subtraction)과 특징 비교법(Feature Matching Method)이 있다. 영상 차감법은 참조 비교(Reference Comparison)방법은 결함이 없는 참조 영상과 검사 대상 영상과의 차이를 두 영상간의 뺄셈 연산을 통해 찾아 결함으로 추출하는 방법이다. 이 방법은 구현이 쉽고 수행 속도가 빨라 비전 검사 시스템에서 많이 사용되고 있다.

하지만 단점으로는 두 영상간의 완벽한 정렬을 필요로 하고 복잡한 대상의 참조 영상을 획득하는 것에 많은 어려움이 있다[8].

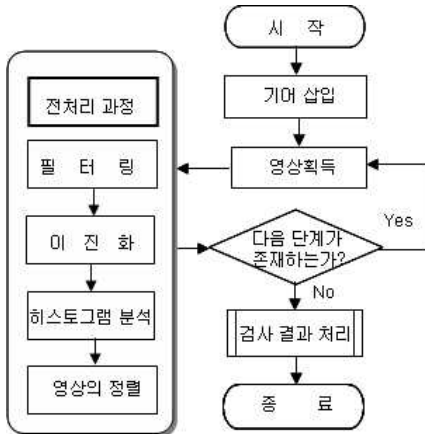
특징비교법은 참조 비교인 영상차감법의 확장된 접근 방법이라고 볼 수 있다. 특징 비교 방법은 참조 영상과 검사 대상 영상의 화소를 하나씩 직접 비교하지 않고 각 영상에서 특징(Feature)들을 추출하고 이 특징들만을 비교함으로써 결함을 검출해 낸다. 특징으로는 도선의 길이나 폭, 홈, 패드 지름, 이웃도선 사이의 거리 등이 있다. 두 영상에서 구한 특징들의 차이를 판단해 설정된 기준치를 초과하면 그 특징을 결함으로 추출한다. 처리할 데이터의 양을 크게 감소시키고 잡음에 대한 민감도를 줄일 수 있으며 처리 속도가 빠르다. 하지만 적절한 특징 선정이 어렵고 다른 영역으로의 확장성이 부족하다는 단점이 있다.

III. 기어검사 시스템

본 논문에서 제안하는 기어 검사 시스템은 기어의 내각과 외각의 영상을 분리하기 위하여 다음 3가지 방법을 이용하였다. 그림 3은 다음의 방법을 적용한 시스템 흐

름도를 나타낸다.

- (1) 영상 획득
- (2) Log 값을 이용한 영상 분할
- (3) 영상 정렬



<그림 3> 시스템 흐름도

3.1 영상획득

영상 처리 시스템은 처리해야 하는 데이터가 많으므로 입력 영상이 좋으면 더욱 정확한 검사가 가능하고 영상 처리 알고리즘이 간단해지며 시스템의 제작단가도 낮출 수 있다. 그러므로 입력 영상의 질을 좌우하는 시각 인식 부의 설계는 매우 중요하다. 영상의 획득은 대상 물체의 제한 조건에 알맞게 설계되어야 한다.

영상 획득에 이용된 장치는 Mitutoyo 공구 현미경과 3× 렌즈 그리고 KP-24BP4M(2K × 2K) 카메라와 Metrox 보드를 사용하였다. 영상 획득의 방법으로는 Ring Light로 제품의 측면 방향으로 빛을 비추어 바깥 기어와 내부 기어의 윤곽만을 보고 Back Light를 사용한 영상으로 내각 기어의 영상의 범위를 정확히 측정할 수 있다[9].

그림 4는 Ring Light로 영상을 획득하는 방법을 나타내며, 이를 통해 획득한 영상을 나타낸다.



(a) 획득된 영상 (b) 영상획득 방법

<그림 4> 더블기어 영상획득

3.2 기어의 내각 외각 분리

영상 처리에 의한 자동 초점 조절의 기본 원리는 초점 값을 구하기 위하여 부가적인 장치를 이용하지 않고, 입력된 영상 신호만을 이용하여 초점 값을 계산하고 초점 값이 커지는 곳으로 영상의 위치를 이동시키는 것이다.

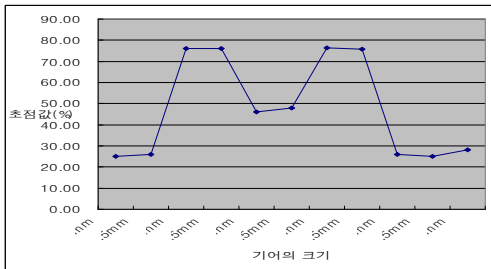
CCD 카메라를 통하여 획득된 2차원 영상의 에지가 선명하다는 것은 입력된 영상들에 고주파 성분이 많이 포함되어 있다[10].

초점 조절에 필요한 초점 값 측정은 여러 논문에서 다양하게 제안되고 있다. 본 절에서는 초점 값 계산에 이용되는 알고리즘들과 본 논문에서 제안하는 라플라시안 가우시안 방법을 이용한 초점 값 측정 알고리즘에 대하여 설명한다(그림 5). 초점 값 측정을 위한 방법으로 Tenengrad, 라플라시안, FFT, 히스토그램 엔트로피, HLV 연산자를 이용한 방법이 있다. 본 논문에서는 라플라시안-가우시안(LoG)을 이용하여 기어의 내/외각을 분리하였다. LoG를 선택한 이유는 가우시안 연산이 영상의 노이즈 제거뿐 아니라 Side-lobe 효과를 줄이는 효율적인 방법이기 때문이다. 광학축의 위치 이동에 따른 초점 값이 이루는 비선형 분포도 분석을 위한 비선형 회귀 분석 기법 중 가우시안 피팅 알고리즘을 사용하여 기어의 내각과 외각을 분리한다. 가우시안 피팅 알고리즘은 식 (6)의 가우시안 모델에 대하여 Taylor 급수를 이용하여 원래의 비선형 방정식을 선형으로 근사시켜 표현함으로써 오차의 값을 최소화하는 매개변수의 새로운 추정

값을 얻는데 최소 제곱 이론을 사용한다[11-12].

$$f(x) = a_x \exp\left[-\left(\frac{x - a_y}{a_z}\right)^2\right] \quad (6)$$

식에서 a_x 는 Amplitude를, a_y 은 본 절에서 구하고자 하는 정 초점 위치를 나타내는 중앙 위치를, a_z 는 가우시안의 width를 나타낸다.



<그림 5> 초점 값 측정 결과

3.3 영상 정렬

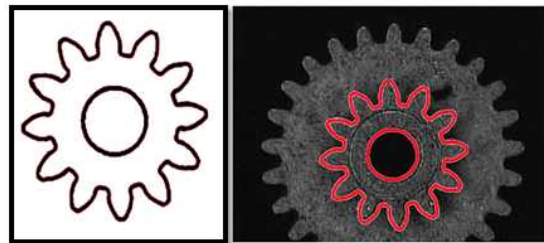
두 영상 사이의 상대적 위치를 결정하는 영상의 정렬은 자동 시각 검사 분야에서 매우 중요한 부분이다. 정확한 검사를 하기 위하여 영상 정렬 알고리즘을 이용하여 두 영상의 좌표축을 정확히 일치시켜야 한다. 실제로 작업장에서는 제품을 컨베이어 위에 놓인 상태로 이동되는 과정에서 영상이 획득된다[13].

영상의 정렬방법은 첫째 각 영상 내의 윤곽선을 찾아서 윤곽선을 이루는 좌표와 방향 값을 저장한다. 두 번째로 임의의 최대 이동 값을 정한다. 이동 값은 $\pm \text{MaxShift}$, $\pm \text{Angle}$ 로 최소한의 이동으로 학습된 영상과의 획득된 영상 간의 정합도를 계산한다. 내각 기어의 숫자는 12개로 좌우 각도 15° 를 넘지 못하기에 $\pm 15^\circ$ 로 설정하였다. 정합도의 결과 중 가장 큰 값이 특정 임계치보다 작으면 두 영상은 정렬되지 않을 정도의 불량인 것은 제품으로 인식한다. 검사할 때 영상에서 비교 기준치

를 지정해야 하는데 이때 주의하여 고려해야 할 사항으로 노이즈에 영향을 최소로 받고 조명의 변화로 말미암아 밝기의 변화가 검사 영상에 나타날 때도 기준치에 이러한 영향이 적으며 기준치를 계산할 때 과도한 계산량이 요구되면 영상 처리에 많은 시간이 요구되기 때문에 계산량이 적은 기준치가 좋은 기준이 된다(그림 6).

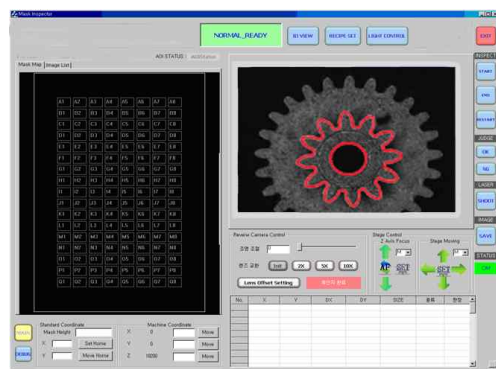
제품에 삽입된 기어의 위치와 조명의 밝기에 따라 다르게 보일 수 있기 때문에 기어의 원영상의 분리된 내각과 외각선과의 경계선(Edge)을 템플릿으로 등록하여 정확한 검사 결과를 얻을 수 있도록 하였다[14].

그림 7은 실제 구현한 더블기어 검사시스템의 메인화면을 나타낸다.



(a) 템플릿 등록 영상 (b) 기어의 내각 분리영상

<그림 6> 영상 정렬



<그림 7> 더블기어 검사 시스템

IV. 결론

본 논문에서는 LoG 필터와 가우시안 피팅 알고리즘을 이용하여 VMS에서의 자동 초점 조절 방법을 제안하였다. 가우시안 필터를 이용함으로써 국지적 최댓값을 갖는 현상을 줄였으며, 라플라시안 필터를 통하여 고주파 영역에 대한 초점 값을 효과적으로 계산할 수 있었다. 이 방법을 적용하여 기어의 내각 형상을 빠르게 찾아서 효율적으로 정밀한 형상 측정 작업을 할 수 있게 되었다.

외각 기어를 분리하여 기어의 내각을 측정하여 정상 제품과 불량품을 올바르게 판단해 내는지를 알아보기 위해 모델별로 정상제품 100개, 불량품 100개씩을 임의로 추출하여 실험하였다. 모두 200개의 제품의 판정을 한 결과 정상제품을 100개, 불량품을 100개로 분류하였다.

기어 한 개를 검사하는데 소요되는 시간은 2초 이내로 육안 검사에 비하여 빠른 검사 속도를 보장하여 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한, 새로운 기어를 검사하고자 할때 학습 기능을 이용하여 시스템 교체 없이 새 제품의 검사가 가능하므로 그에 따른 추가 비용을 최소화할 수 있다. 또한, 결함의 유/무만 아니라 유형도 판별하여 보다 효율적인 공정 관리가 가능하며 향후 결함 및 공정 관련 지식을 축적해 갈 수 있는 지식기반 시스템으로 발전시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] K. Hendengren, "Methodology for Automatic image-based inspection of industrial objects," in *Advances in Machine Vision*, Sanz J. ed, Springer-Verlag, 1988.
- [2] Masakazu Eijiri, "Machin Vision A Practical Technology for Advanced Image Processing" *Japanese Technology Reviews, Computers and Communications*, Vol. 10, Grodon and Breach Science Publishers, 1989.
- [3] R. T. Chin, and C. A. Harlow, "Automated Visual Inspection: A Survey," *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-4, No. 6, Nov. 1982.
- [4] K. W. Tobin, "Inspection in Semiconductor Manufacturing," *Webster's Encyclopedia of Electrical and Electronic Engineering*, Vol. 10, Wiley & Sons, NY, NY, 1999, pp. 242-263.
- [5] M. Subbarao, T. Choi, and A. Nikzad, "Focusing Techniques," *Journal of Optical Engineering*, Vol. 32 No. 11, November 1993, pp. 2824-2836.
- [6] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, Aug. 1994, pp. 824-831.
- [7] Steven C. Chapra, Raymond P. Canale. "Numerical Methods for Engineers, 4th," McGraw-Hill.
- [8] 정수목, "영상의 지역성을 이용한 보간 영상의 화질 개선 기법," *디지털산업정보학회*, 6권, 4호, 2010.
- [9] 이규봉, 안인모, 권창완, "머신 비전용 최적 조명 장치 개발에 관한 기본 연구," *한국 생산 기술 연구원, 국내 연구 보고서*, 1993.
- [10] 한문용, 한현수, "소형 Hole의 형태 및 크기 측정을 위한 자동초점 비전 검사기," *한국정밀공학회지*, 제 16권, 제 10호, 1999.
- [11] M. Subbarao, T. Choi, and A. Nikzad, "Focusing Techniques," *SPIE Conference on Journal of Optical Engineering*, vol. 1823, November 1992, pp. 163-174.
- [12] 장성익, "디지털 畫像處理에 의한 焦點 調節 알고리즘 및 具現," *서울대학교대학원 박사학위 논문*, 1995.
- [13] Cihan H, Dagli, "Automatic PCB Inspection Algorithms: A Survey," *COMPUTER VISION*

AND IMAGE UNDERSTANDING, Vol. 63, No. 2,
March, 1996, pp. 287 - 313.

- [14] 조영석, "비전시스템을 이용한 이동물체 자동검사에 관한 연구," 디지털산업정보학회, 5권, 1호, 2009.

■ 저자소개 ■



이 영 교
Lee, Young Kyo

2000년 8월~현재
부천대학교 정보통신과 부교수
2002년 2월 한국항공대학교 대학원
통신정보공학과 (공학박사)
1995년 8월 한국항공대학교 대학원
통신정보공학과 (공학석사)
1992년 2월 한국항공대학교
통신정보공학과(공학사)
관심분야 : 유비쿼터스, 유무선네트워크,
트래픽제어
E-mail : yklee@bc.ac.kr



김 영 포
Kim, Young Po

2011년 2월 한국항공대학교 대학원
정보통신공학과 (박사수료)
2005년 2월 한국항공대학교 대학원
항공전자공학과 (공학석사)
관심분야 : Mobile IP, Self-organizing
wireless networks, 정보보안
E-mail : zero-po@hanmail.net

논문접수일 : 2011년 11월 28일
수 정 일 : 2011년 12월 06일(1차), 12월 10일(2차)
계재확정일 : 2011년 12월 13일